

doi:10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

УДК 631.331.5

Результаты полевых исследований прутково-дискового катка

В. Е. Прошкин✉, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

В. И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

И. А. Шаронов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

С. А. Яковлев, доктор технических наук, доцент кафедры «Технология производства и ремонт машин»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1;

✉veproshkin1993@gmail.com.

Резюме. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур является приоритетным направлением развития растениеводства во всех странах мира. При возделывании сельскохозяйственных культур одной из немаловажных операций является прикатывание почвы. При правильном выполнении этой операции и соблюдении агротехнических требований можно повысить урожайность культур до 30 % за счет улучшения контакта семян с почвой и обеспечения лучшего водно-воздушного режима для развития растений. При этом применяемые конструкции катков зачастую не обеспечивают качественного прикатывания почвы, что приводит к снижению полевой всхожести семян, ухудшению развития растений и, как следствие, к снижению урожайности. Разработана инновационная конструкция прутково-дискового катка, не имеющая выпускаемых промышленностью аналогов. В результате проведенных с использованием предлагаемого катка экспериментальных исследований на опытном поле Ульяновского ГАУ получены математические модели процесса прикатывания почвы с позиции соответствия её плотности нормативным требованиям. Качество прикатывания почвы оценивали с помощью предложенного нами коэффициента приближения к эталону $K_{пл}$, который для разработанного катка составил 0,87. Такое значение обеспечивается при частоте вращения дисков $n = 1280 \text{ мин}^{-1}$ и массе прутково-дискового катка $m = 228 \text{ кг}$. При этом зона оптимума занимает более 27 % двухмерной проекции поверхности отклика, что говорит о качественной работе катка в достаточно широком диапазоне изменения режимов его работы. Полученные результаты исследования показали, что качество обработки предложенным прутково-дисковым катком по плотности почвы на 38,1 % лучше, чем у серийно выпускаемого ККЗ-6. При этом также полностью обеспечивается выполнение агротехнических требований по агрегатному составу почвы.

Ключевые слова: поверхностная обработка, почва, прикатывание, прутково-дисковый каток, плотность, коэффициент приближения к эталону.

Results of field research of a rod-disc roller

V. E. Proshkin✉, **V. I. Kurdyumov**, **I. A. Sharonov**, **S. A. Yakovlev**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432017, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, building 1; tel.: 89279871088;

✉veproshkin1993@gmail.com.

Abstract. Increase of crop yields is a priority direction for development of crop production in all countries of the world. When cultivating agricultural crops, one of the important operations is soil rolling. If this operation is performed correctly and agrotechnical requirements are followed, crop yields can be increased by up to 30% by improving seed-soil contact and providing a better water-air regime for plant development. However, the used roller designs often do not provide high-quality soil compaction, which leads to a decrease in field germination of seeds, a deterioration of plant development and, as a consequence, a yield decrease. The authors developed an innovative design of a bar-disc roller, which doesn't have analogues produced by the industry. As a result of experimental studies carried out using the proposed roller on the experimental field of Ulyanovsk State Agrarian University, mathematical models of the soil compaction process were obtained from the position of compliance of its density with the requirements. The quality of soil compaction was assessed using our proposed coefficient of approximation to the standard ksq , which was 0.87 for the developed roller. This value is ensured at a disk rotation speed of $n = 1280 \text{ min}^{-1}$ and a rod-disc roller mass $m = 228 \text{ kg}$. In this case, the optimum zone occupies more than 27% of the two-dimensional projection of the response surface, which indicates the high-quality operation of the roller in a fairly wide range of changes in its operating modes. The results of the study

showed that the processing quality of the proposed rod-disc roller in terms of soil density is 38.1% better than that of the commercially produced KKZ-6. Moreover, the agrotechnical requirements for the aggregate composition of the soil are also fully ensured.

Keywords: surface treatment, soil, compacting, rod-disc roller, density, coefficient of approximation to the standard.

For citation: Proshkin V. E., Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Yakovlev S. A. Results of field research of a rod-disc roller // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;4(64): 229-234 doi:10.18286/1816-4501-2023-4-229-234.

Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-5360.2022.4

Введение

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур является приоритетным направлением развития растениеводства во всех странах мира. Но фермеры нашей страны мало уделяют внимания поверхностной обработке почвы, применяя самые простые и малоэффективные средства механизации, что приводит к снижению урожайности культурных растений. Особенно это можно наблюдать на прикатывании почвы [1 - 5]. Применяемые катки, такие как гладкие водоналивные и кольчато-шпоровые, малоэффективны, поскольку плохо разрушают почвенные комки, а их металлоемкость превышает 300 кг/м, что негативно сказывается на их стоимости и на затратах при их эксплуатации.

Для получения высокой урожайности необходимо обеспечить оптимальные условия, во-первых, для прорастания семян и, во-вторых, для роста и развития растений [6 - 11]. На оба этих показателя напрямую влияют фактические плотность и агрегатный состав почвы, которые необходимо обеспечить во время ее прикатывания.

В результате анализа технической и сельскохозяйственной литературы нами выявлено, что оптимальная плотность почвы в зоне расположения семян для большинства культурных растений варьируется от 1100 кг/м³ до 1300 кг/м³. При этом почва должна состоять из агрегатов с минимальным содержанием пыли и с полным отсутствием комков диаметром более 50 мм на поверхности поля [11 - 17].

Материалы и методы

Выполнив анализ выпускаемых промышленностью почвообрабатывающих катков, а также патентов, которые остались не востребованными промышленностью, мы выявили основные недостатки конструкций катков, снижающие качество их работы. Также необходимо отметить низкое качество прикатывания почвы прутковыми катками вследствие значительного расстояния между соседними прутками и большого диаметра прутков. Также стоит отметить, что прутковые катки не применяют как отдельные орудия, а только в составе

комбинированных агрегатов, что говорит об их низкой универсальности.

Вследствие проделанной нами работы предложена конструкция прутково-дискового катка (рис. 1), который за счет пассивного привода от звездочек с помощью ременной передачи передает крутящий момент от прутков катка на дополнительную ось с установленными на ней вспомогательными дисками [18].

В результате обеспечивается частота вращения дисков, минимум в 13 раз превышающая частоту вращения самого катка, что оказывает положительный эффект на качество разрушения почвенных комков повышенной твердости, попавших во внутреннее пространство катка.

Исследования проводили на опытных полях Ульяновского ГАУ. Перед выполнением прикатывания были выполнены предшествующие операции - это осенняя вспашка (основная обработка почвы) и весенняя культивация.

Перед проведением эксперимента определили влажность почвы на опытном участке поля, которая составила в среднем 20 %, что удовлетворяет основным требованиям к посеву. При полевых исследованиях выполняли оценку качества прикатывания почвы посредством сравнения ее фактических значений с эталонными [19].

При прорастании семян через лежащий над ними слой почвы непосредственное влияние на скорость этого процесса оказывают комки почвы, лежащие на ее поверхности. Следовательно, агрегатный состав почвы влияет напрямую на развитие растения, поскольку комки почвы, которые приходится огибать росткам, повышают вероятность их гибели или увеличивают время их прорастания.

В ходе полевых исследований выявлено, что агрегатный состав почвы после прохода разработанным прутково-дисковым катком удовлетворяет агротехническим требованиям к посеву (рис. 2), так как на обработанной поверхности почвы после прохода предложенного устройства отсутствовали комки почвы, размер которых превышает 50 мм, в отличие от участка, обработанного кольчато-зубчатым катком.

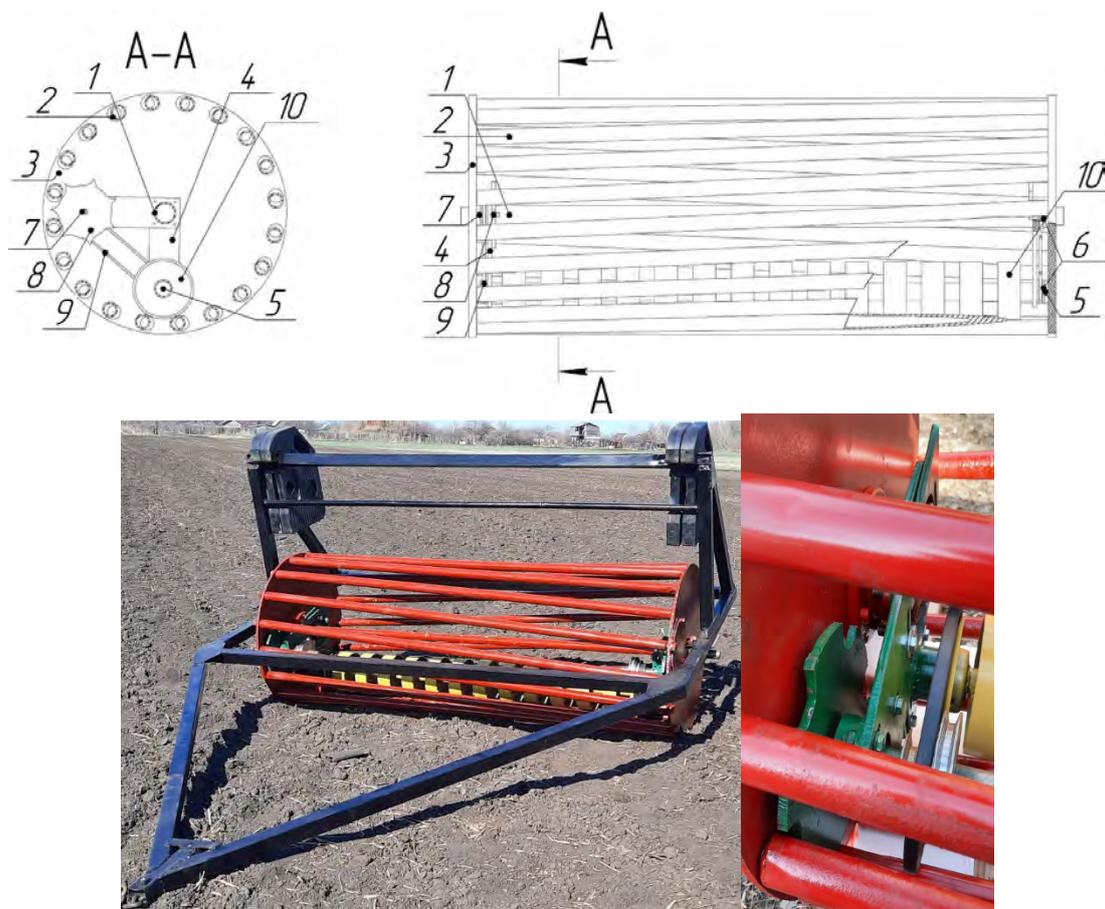


Рис. 1. Пруtkово-дисковый каток: 1 – ось пустотелого цилиндра; 2 – прутки; 3 - вертикальные диски; 4 - Г-образные крепления; 5 - дополнительная ось; 6 – шкивы; 7 - вспомогательные оси; 8 – звездочки; 9 - ременная передача; 10 - вспомогательные диски

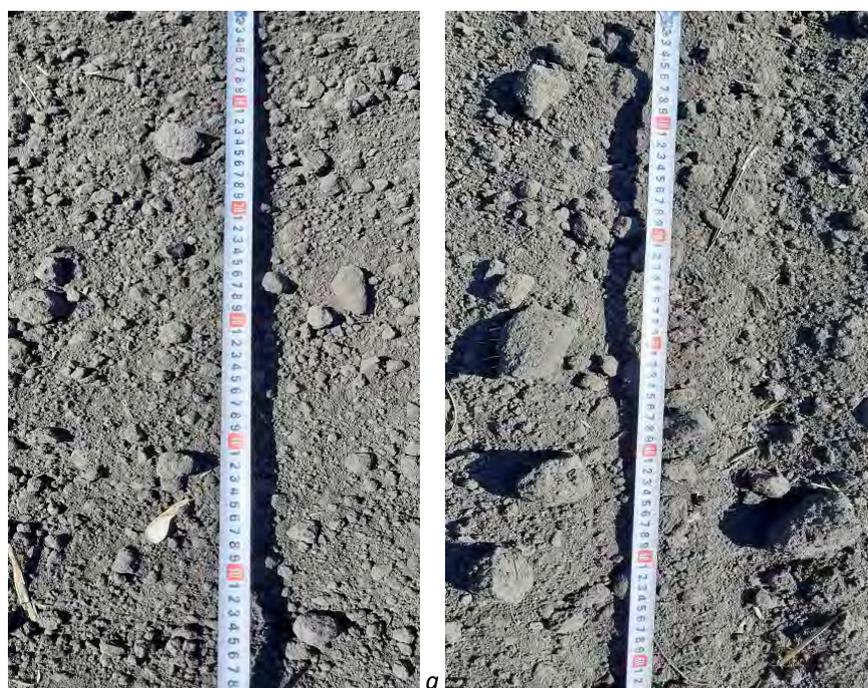


Рис. 2. Поверхность почвы после прикатывания предложенным прутково-дисковым катком (а) и кольчато-зубчатым катком (б)

Плотность почвы — это основной показатель качества прикатывания, оказывающий непосредственное влияние на развитие семян и рост растений. Содержание в почве пор воздуха и воды критически необходимы для растений так же, как и качественный контакт семян с почвой [20].

Пробы почвы по плотности брали в трехкратной повторности для обеспечения чистоты эксперимента.

Основными независимыми параметрами, влияющими на качество обработки почвы катком разработанной конструкции, являются:

- скорость движения прутково-дискового катка v , км/ч;
- масса прутково-дискового катка m , кг, которую варьировали от 186 кг до 286 кг через 50 кг;
- диаметр шкивов, установленных на дополнительной оси d , мм.

Поскольку скорость движения агрегата и диаметры шкивов напрямую влияют на частоту вращения дополнительной оси, а, следовательно, и вспомогательных дисков, что напрямую влияет на качество обработки почвы, то рационально в исследованиях использовать один независимый фактор - частоту вращения вспомогательных дисков (табл. 1).

Таблица 1. Изменение частоты вращения вспомогательных дисков n (мин⁻¹) в натуральных и кодированных значениях факторов в зависимости от скорости движения прутково-дискового катка

Скорость движения катка v , км/ч	Диаметр шкивов на вспомогательных осях d , мм		
	80	60	40
	Частота вращения вспомогательных дисков n , мин ⁻¹ , в натуральных (кодированных) значениях факторов		
7	462,6 (-1)	616,8 (-0,7981)	924 (-0,3970)
11	731,4 (-0,6485)	975 (-0,3304)	1463,4 (0,3074)
15	1000,8 (-0,2567)	1329 (0,1313)	1993,8 (1)

Результаты

Оценку качества работы прутково-дискового катка выполняли с помощью программ Excel, введя функцию разработанного нами критерия приближения к эталону [21], за основу которой взята оптимальная плотность почвы в зоне расположения семян (1200 кг/м³).

Полученные таблицы с результатами эксперимента оценивали с помощью программы STATISTIKA. В результате получены поверхности отклика, представляющие собой зависимость коэффициента приближения к эталону по плотности почвы в зоне расположения семян $k_{пл}$ от частоты вращения вспомогательных дисков n (кодированное значение x) и массы катка m (кодированное значение y).

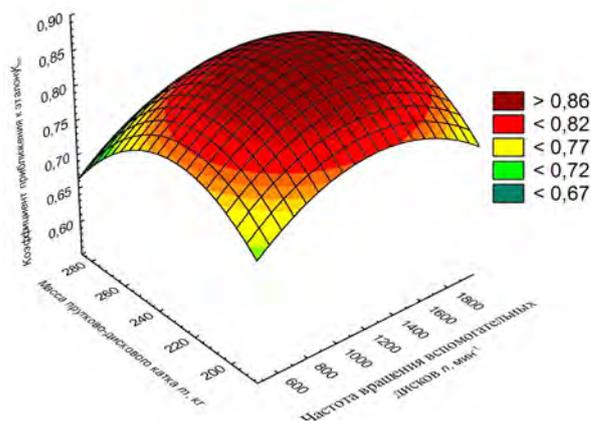


Рис. 3. 3D вид поверхности отклика, характеризующей зависимость коэффициента приближения к эталону от независимых факторов процесса прикатывания почвы

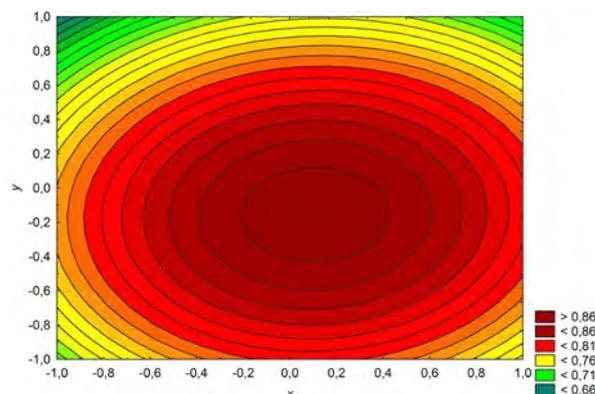


Рис. 4. 2D вид поверхности отклика, характеризующей зависимость коэффициента приближения к эталону от независимых факторов процесса прикатывания почвы в их кодированных значениях

Полученная математическая модель в натуральных (1) и кодированных (2) значениях факторов имеет следующий вид:

$$k_{пл} = -1,1504 + 0,0003n + 0,0161m - 1,1474 \cdot 10^{-5}n^2 + 1,0243 \cdot 10^{-7}nm - 3,5686 \cdot 10^{-5}m^2; (1)$$

$$K = 0,8641 + 0,0155x - 0,0282y - 0,0679x^2 + 0,0045xy - 0,0892y^2. (2)$$

Максимальный коэффициент $k_{пл} = 0,87$ (следовательно, и наилучшее качество прикатывания) достигается при частоте вращения вспомогательных дисков $n = 1280$ мин⁻¹ и массе прутково-дискового катка $m = 228$ кг при ширине захвата 1,5 м.

Анализ математической модели в кодированных значениях факторов показал, что наибольшее влияние на качество прикатывания почвы по плотности оказывает масса почвообрабатывающего катка. Несколько меньший эффект оказывает частота вращения вспомогательных дисков.

Для сравнения качества работы предлагаемого прутково-дискового катка с широко применяемыми средствами механизации прикатывания почвы

на экспериментальном участке выполнили ее прикатывание серийным катком ККЗ-6 с последующим отбором проб. После обработки результатов опытов нами получен коэффициент приближения к эталону для кольчато-зубчатого катка на данном участке $k_{пл} = 0,63$, что на 38,1 % хуже, чем у прутково-дискового катка.

Обсуждение

Благодаря проведенным исследованиям доказана большая эффективность работы прутково-дискового катка, так как при достигнутом коэффициенте приближения к эталону $k_{пл} = 0,87$ плотность почвы находилась в интервале агротехнических требований. После обработки контрольного участка поля кольчато-зубчатым катком выявлено, что коэффициент приближения к эталону $k_{пл}$ на этом участке не превысил 0,63.

Заключение

В результате полевых исследований выявлено, что максимальное значение коэффициента приближения к эталону по плотности $k_{пл}$ при использовании предлагаемого прутково-дискового катка составляет 0,87. Такой $k_{пл}$ достигается при частоте вращения вспомогательных дисков $n = 1280 \text{ мин}^{-1}$ и удельном давлении на почву 1520 Н/м. При этом зона оптимума занимает более 27 % двухмерной проекции сечения поверхности отклика, что говорит о качественной работе катка в достаточно широком диапазоне изменения режимов его работы.

Полученные результаты показали, что качество поверхностной обработки почвы предложенным прутково-дисковым катком, оцениваемое с помощью коэффициента приближения к эталону по плотности, на 38,1 % лучше, чем у серийно выпускаемого ККЗ-6, при полном выполнении агротехнических требований к обеспечиваемому агрегатному составу почвы.

Литература

1. Дальский Н. Как выбрать прикатывающий каток для комбинированного агрегата? // Наше сельское хозяйство. 2023. № 9 (305). С. 24-28.
2. Рабочий орган плоскореза-глубококорыхлителя удобрения / И.И. Максимов, А. А. Васильев, С. А. Васильев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 102-107.
3. Влияние конструкции шпоры катка для сплошного прикатывания на рыхление и уплотнение почвы / Д. Н. Раднаев, Ю. А. Сергеев, А. А. Абидуев, и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16, № 4. С. 114-121.
4. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур / Д. Н. Раднаев, С. С. Калашников, Д. Ц. Б. Бадмацыренов и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2(62). С. 158-167.
5. Влияния воздействий прикатывающих катков на обобщенные силы малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (63). С. 98-105. doi: 10.12737/2073-0462-2021-98-105
6. Конструкция сошника с заделывающим устройством борозды для зерновой сеялки / Н. П. Ларюшин, С. В. Бричков, А. В. Шуков и др. // Нива Поволжья. 2021. № 1 (58) С. 127-131.
7. Повышение энергоэффективности обработки почвы тягово-приводным почвообрабатывающим орудием / С. В. Машков, М. А. Петров, В. А. Шахов и др. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С.37-47.
8. Широкозахватные винтовые катки для прикатывания посевов // АгроСнабФорум. 2015. № 1-2(131). С. 40.
9. Кузьминых А. Н. Система предпосевной обработки почвы и урожайность ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6, № 1(21). С. 32-39.
10. Петроченко Н. О. Сохрани почвенную влагу сегодня - получи богатый урожай завтра! // Наше сельское хозяйство. 2023. № 5(301). С. 4-14.
11. Кузьминых А. Н., Пашкова Г. И. // Влияние способов предпосевной обработки почвы на засоренность посевов и урожайность ярового ячменя // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 34-37.
12. Рахимов Р.С. Определение металлоемкости орудий при их проектировании / Р. С. Рахимов, И. Р. Рахимов, Ф. Ф. Касымов и др. // АПК России. 2015. Т. 74. С. 110-117.
13. Ефимов А. Г., Калюжный В. Г. Механические приёмы ухода за посевами // Соя: биология и технология возделывания / под редакцией В.Ф. Баранова, В. М. Лукомца. Краснодар, 2005. С. 246–251.
14. Применение комбинированного сельскохозяйственного агрегата на щелевании и прикатывании в условиях Амурской области / Р. О. Сурин, М. С. Соколов, С. В. Щитов и др. // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2023. № 35. Р. 88-92.
15. Шишлов С. А. Предпосевная подготовка почвы под сою виброкатком в условиях Приморского края / С. А. Шишлов, А. Н. Шишлов, М. С. Шапарь // Аграрный вестник Приморья. 2017. № 3(7). С. 57-59.
16. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов / С. И. Камбулов, Г.Г. Пархоменко, Ю. А. Семенихина, и др. // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3(23). С. 113-121.

17. Петровец В. Р. Влияние прикатывающих катков сошников на плотность почвы семенного ложа / В. Р. Петровец, В. А. Гайдуков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 5-9.

18. Патент № 2799841 Российская Федерация, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток: № 2023100266: заявл. 10.01.2023: опубл. 12.07.2023 / Курдюмов В.И., Прошкин В.Е., Богатски Р.В., Опарин И.В.; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Бюл. № 20.

19. Analysis of the structural composition of the soil during field studies of a soil-cultivating vibratory roller / V.I. Kurdyumov, V.E. Proshkin, E.S. Zykin, E.N. Proshkin, I.A. Sharonov // Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference. - 2022. - P. 012106.

20. К определению силы воздействия виброкатка на почву / В. И. Курдюмов, В. Е. Прошкин, Е. Н. Прошкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2(58). С. 13-17.

21. Field studies of the wave roller / V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, V. V. Kurushin и др. // II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). 2023. P. 02030.

References

1. Dalsky N. How to choose a press roller for a combined unit? // Our agriculture. 2023. №9 (305). P. 24-28.

2. Working body of a flat cutter-subsoiler of a fertilizer device/ I. I. Maksimov, A. A. Vasiliev, S. A. Vasiliev, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2023. Vol. 18. №2 (70). P. 102-107.

3. Influence of the spur design of a continuous compaction roller on soil loosening and compaction / D. N. Radnaev, Yu. A. Sergeev, A. A. Abiduev et. al //Far Eastern Agrarian Vestnik. 2022. Vol. 16, №4. P. 114-121.

4. Radnaev D. N. Justification of rational parameters of a compacting roller of a dual-level opener when sowing grain crops / D. N. Radnaev, S. S. Kalashnikov, D. Ts. B. Badmatsyrenov et al. // Far Eastern Agrarian Vestnik. 2022. №2(62). P. 158-167.

5. Effects of impacts of covering rollers on general forces of small-sized tillage machine / G.S. Yunusov, N.N. Anderzhanova, A.R. Valiev et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2021. № 3 (63). P. 98-105. doi: 10.12737/2073-0462-2021-98-105

6. Design of a coulters with a furrow closing device for a grain seeder / N. P. Laryushin, S. V. Brichkov, A. V. Shukov et al. // Niva Povolzhya. 2021. №1 (58) P. 127-131.

7. Increase of energy efficiency of soil tillage with towing -driven tillage devices / S. V. Mashkov, M. A. Petrov, V. A. Shakhov et al. // Izvestiya of Samara State Agricultural Academy. 2021. №4. P. 37-47.

8. Wide-range screw rollers for soil compaction // AgroSnabForum. 2015. №1-2(131). P. 40.

9. Kuzminykh A. N. System of pre-sowing tillage and yield of spring barley // Vestnik of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences. 2020. Т. 6, №1(21). P. 32-39.

10. Petrochenko N. O. Save soil moisture today - get a rich harvest tomorrow! // Our agriculture. 2023. №5 (301). P. 4-14.

11. Kuzminykh A. N., Pashkova G. I. The influence of pre-sowing tillage methods on weeds and yield of spring barley // Current issues of improvement of the technology of production and processing of agricultural products. 2019. №21. P. 34-37.

12. Specification of metal consumption of devices during their design / R. S. Rakhimov, I. R. Rakhimov, F. F. Kasymov // Agroindustrial Complex of Russia. - 2015. Vol. 74. P. 110-117.

13. Efimov A. G. Kalyuzhny V. G. Mechanical methods for crop care // Soybean: biology and cultivation technology / edited by V.F. Baranova, V.M. Lukomets. Krasnodar, 2005. P. 246–251.

14. Application of a combined agricultural unit for slotting and rolling in the conditions of the Amur region / R. O. Surin, Sokolov M. S., Shchitov S. V., et al. // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2023. №35. P. 88-92.

15. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shapar M. S. Pre-sowing soil preparation for soybeans with a vibrating roller in the conditions of the Primorsky Territory // Agrarian Vestnik of Primorye. 2017. №3(7). P. 57-59.

16. Usage of mulching rollers in the design of combined soil-cultivating units / S. I. Kambulov, G. G. Parkhomenko, Yu. A. Semenikhina, et al. // Tauride Vestnik of Agrarian Science. 2020. №3(23). P. 113-121.

17. Petrovets V.R., Gaidukov V. A. The influence of coulters compacting rollers on soil density of the seed bed // Design, usage and reliability of agricultural machines. 2022. №1 (21). P. 5-9.

18. Patent №2799841 Russian Federation, IPC А01В 29/04. Tillage roller: №2023100266: appl. 10.01.2023: publ. 12.07.2023 / Kurdyumov V. I., Proshkin V. E., Bogatski R. V., Oparin I. V.; patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. Bull. №20.

19. Analysis of the structural composition of the soil during field studies of a soil-cultivating vibratory roller / V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, E. S. Zykin, et al. // Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference. 2022. P. 012106.

20. To specification of the force of impact of a vibrating roller on the soil / V.I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, E. N. Proshkin, et al // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. №2(58). P. 13-17.

21. Field studies of the wave roller / V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, V. V. Kurushin, E. N. Proshkin, R. V. Bogatsky // II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). 2023. P. 02030.